

# コンクリート塊の骨材としての再生と再生骨材 の転圧コンクリートへの利用に関する研究

RECYCLING OF AGGREGATE FROM WASTE CONCRETE AND APPLICATION  
OF RECYCLED AGGREGATE TO ROLLER COMPACTED CONCRETE

大野宏喜\*・山田 優\*\*

by Hiroki OHNO and Masaru YAMADA

## 1. はじめに

### 1.1 研究の背景

コンクリートは耐久性にすぐれた材料であるが、それで造られた構造物もいつかは解体され、セメントコンクリート発生材すなわちコンクリート塊となる。それを破碎し、ふるい分けたものをセメントコンクリート再生骨材という（以下、単に再生骨材と呼ぶ）。コンクリート塊のリサイクルは、現在主にこの再生骨材にして建設工事で再利用することで行われている。

建設省の調査<sup>1)</sup>によると、コンクリート塊は、表1に示すとおり、平成7年度において3,700万tであり、平成2年度に比べて約50%の増加を示した。一方、リサイクル率も、その5年間で48%から65%に上昇した。しかし同表にあるとおり、リサイクルプラン21達成のためには、さらに5年後の平成12年度にリサイクル率を90%にしなければならない。

表1 コンクリート塊の搬出量とリサイクル率  
およびリサイクルプラン21の目標

年度(平成)	2	5	7	12 (目標)
搬出量(万t)	2,500	2,600	3,700	—
リサイクル率(%)	48	67	65	90

ところで現在、再生骨材の最も利用しやすい用途は、道路の下層路盤材や埋め戻し材など、再生クラッシュランとしての用途<sup>2)</sup>であると考えられる。リサイクル率のこれまでの上昇は、もっぱらそのような用途での利用が増加した結果と推察される。しかし平成12年度までに90%という高いリサイクル率を達成するには、再生クラッシュランの用途だけでは不十分で、砕石の種々の用途、特にコンクリート用

骨材としての利用も必要であると言える。

毎年、新しく製造されて使用されるコンクリートの量は、生コンクリートだけでも4億tに及ぶ。コンクリート塊の発生量は、現在まだその10%程度にすぎず、今後まだまだ増加するとみなければならない。また再生クラッシュランの需要にも限界がある。

現在、砕石業が供給している砕石の30%以上を占めるのがクラッシュランで、その量は1億数千万tである。そのうちの数千万tを再生クラッシュランで代替えするのは、特に不可能なことではないかもしれない。しかしクラッシュランのみの生産量を減少させることは、他のコンクリート用などの砕石の生産に影響し、それらの品質を低下させるかもしれない。いずれにしても、それを進めるには砕石業の協力を必要とする。コンクリート用砕石の生産量も現在、クラッシュランと同程度に多く、ぜひコンクリート塊を原石とするコンクリート用再生骨材の製造も真剣に考えるべきである。

加えて再生クラッシュランと同様な用途に利用したい再生資源は多い。地域によっては大量に供給される鉄鋼スラグはコンクリート塊からの再生クラッシュランより路盤材としての品質はすぐれている。大阪市建設局<sup>3)</sup>におけるように、道路工事で大量に発生する掘削残土を改良して路盤などに利用している地域もある。

しかし再生骨材をコンクリートに利用する場合、骨材としての品質が問題となる。現在製造されている再生骨材は、単にコンクリート塊を破碎処理したのみのものであり、セメント水和物分を多く含んでいて、吸水率が高く、粒子強度も低いため、構造用のコンクリートに使用することが難しく、コンクリート用としての需要は期待しにくい。セメント分の分離除去は、コストが掛かることであり、十分に行うことは不経済すぎるであろうが、コンクリートに利用するためには、できるだけ費用の掛からない方法により、ある程度行う必要がある<sup>4)</sup>。

再生骨材のコンクリートへの利用のために研究す

\*堺市建設局(元大阪市立大学学生)、\*\*大阪市立大学教授 工学部土木工学科(〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

べきことは、セメント分の効率的な分離除去による高品質再生骨材の製造システムの開発とともに、従来のコンクリート用骨材の基準からすれば必ずしも十分な品質ではない再生骨材を、いかにしてコンクリートに利用していくかという、利用システムの開発である。

## 1. 2 研究の目的

セメント分の分離除去による再生骨材の高品質化は、これまで研究されてきたように<sup>5)~8)</sup>、コンクリート塊を骨材の最大粒径以下に破碎した後、骨材粒子を原骨材が割れない程度の力でもみ合わせることで行われる。再生細骨材の高品質化には限界があるようだが、再生粗骨材については、比較的簡単な装置によってJISのコンクリート用砕石の品質規格を実質上満足するまでに高品質化することが可能である。

一方、再生骨材のコンクリートへの利用の促進には、まず公共工事での利用が必要で、例えば図1に示すような転圧コンクリート工法で道路舗装に用いることが考えられる。この工法は、コンクリート舗装専用の機械を用いることなく、アスファルト舗装用の舗設機械で施工でき、採用されやすい。吉兼ら<sup>9)</sup>は、再生骨材を転圧コンクリート舗装に適用できる可能性があり、再生骨材の細骨材を含むほぼ全量を利用することができるので、コンクリート塊の有効利用策として好ましいとしている。しかし、そこで使用した再生骨材は破碎処理のみによるもので、セメント分の分離除去処理までは行われていない。

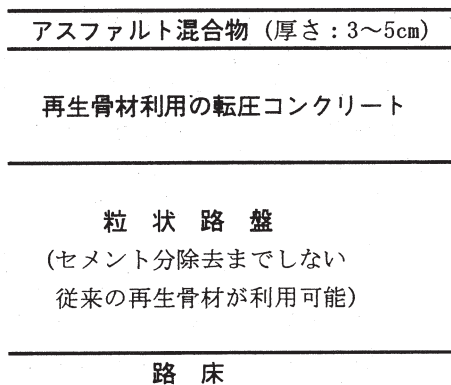


図1 再生骨材の舗装への利用例

そこで本研究では、筆者らが試作して大阪市立大学内に設置している高度再生処理実験機を用いてセメント分の除去処理程度の異なる再生骨材を製造し、それらの品質試験を行うとともに、それを骨材として使用した転圧コンクリートを作製して曲げ強度を試験し、再生骨材の高度再生処理の効果など、再生

骨材の転圧コンクリートへの適用について検討した。

## 2. 再生骨材の高度再生処理実験

### 2. 1 実験用再生骨材試料（再生骨材I）の作製方法

鉄筋コンクリート建築物の解体で排出されたコンクリート塊を学外の破碎処理施設のジョークラッシャーで40mm以下に一次破碎した後、コーンクラッシャーで15mm以下に二次破碎して大学構内へ搬入した。これを再生骨材Iとし、その粗骨材粒径分すなわち5~20mmの粒径分を試料として高度再生処理実験を行った。

コンクリート塊中には20mm以上の粒径の骨材も含まれていたが、研究に用いた高度再生処理機は大学での研究用の実験機で、最大寸法15mm用となっているため、15mm以下を目標に破碎した。

### 2. 2 高度再生処理実験機と処理実験方法

コンクリート塊を破碎しただけの再生骨材からセメント分を除去して高品質の再生骨材を製造する実験機の構造は、図2に示すようなものである。

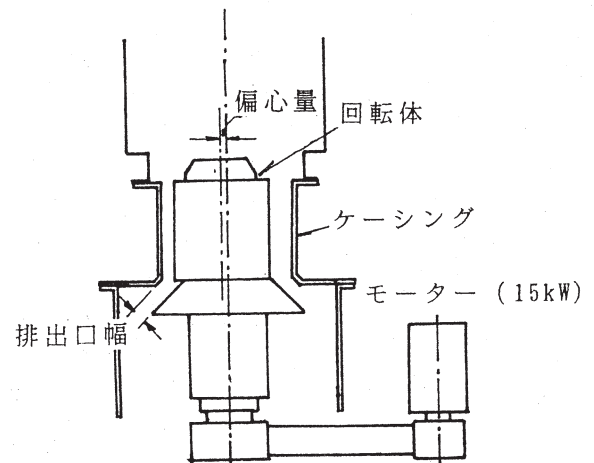


図2 高度再生処理実験機の構造

縦に設置した円筒形のケーシング内にわずかに偏心して回転する円筒形の回転体が置かれている。コンクリート塊の破碎物試料（再生骨材）を上部からケーシングと回転体との間に連続的に投入して充填し、それらを回転体によって加速して試料粒子どうしをぶつけ合ったり、もみ合ったりさせながら回転下降させ、下部から引き出す。

回転体の直径は325mm、高さは370mmで、外側のケーシングは数種の寸法のを準備し、また偏心量、回転速度および排出口の寸法は可変であるが、ここでは内径420mmのケーシングを用い、偏心量は4mm、回転速度は500rpmとし、排出口の幅は約20mmで粒子



どうしてももみ合う状態になるように微調整した。この条件での処理速度は3.8 t/hであった。

次の写真1がその実験機で、写真2はケーシングの中を上から見たものである。

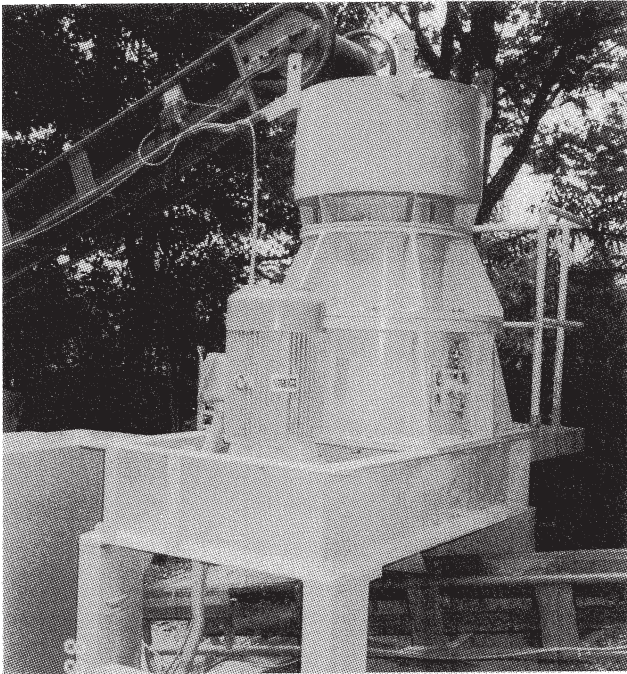


写真1 高度再生処理実験機

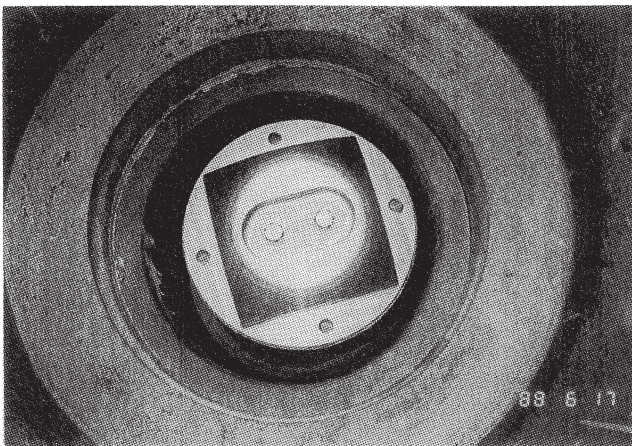


写真2 実験機のケーシングの中（上方から）

処理実験は、図3に示すとおり、処理物をふるい分けて粗骨材粒径分すなわち5mm以上を分離し、それを用いて再度、処理実験を行った。そして、高度再生処理前の破砕しただけの試料を再生骨材Ⅰ、一回だけ高度再生処理した後のものを再生骨材Ⅱ、二回高度再生処理した後のものを再生骨材Ⅲと呼ぶこととした。

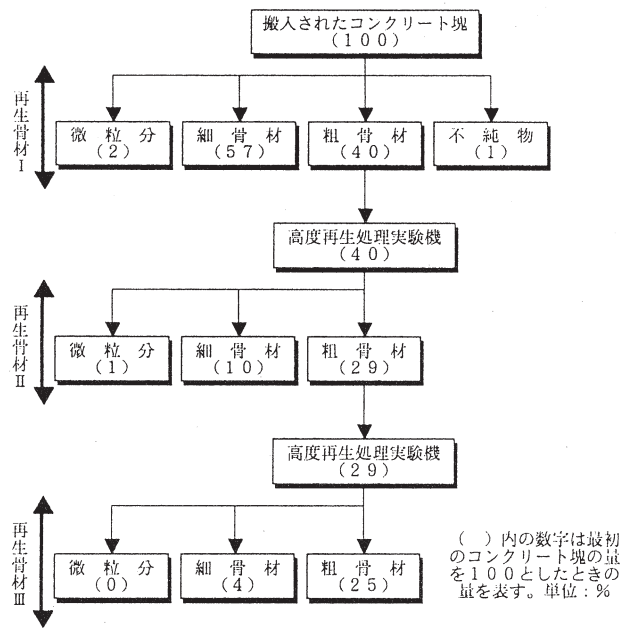


図3 高度再生処理実験工程と再生骨材の種類

### 2.3 実験結果と考察

高度再生処理実験工程で得られた再生骨材の内訳は、最初の試料（再生骨材Ⅰ）の重量を100%としたとき、図3の（ ）内に数字で示す割合となった。再生骨材Ⅰの段階であれば、粗骨材が40%、細骨材が57%が得られた。その40%の粗骨材を試料にして高度再生処理を行うと、粗骨材が29%、細骨材が10%となった。さらに、その粗骨材を再度、高度再生処理すると、粗骨材25%、細骨材4%を得た。

すなわち処理を繰り返すに従って、当然ながら粒径は小さくなる。表2に、高度再生処理を各段階まで行ったときに得ることになる各骨材の割合を示す。

表2 高度再生処理の各段階における各骨材の割合（最初の実験試料に対する重量%）

高度再生処理	粗骨材				細骨材				全骨材合計
	I	II	III	計	I	II	III	計	
なし	40	—	—	40	57	—	—	57	97
1回	—	29	—	29	57	10	—	67	96
2回	—	—	25	25	57	10	4	71	96

I, II, IIIは、それぞれ再生骨材Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ（図3参照）を示す。

各骨材の粒度の試験結果を図4に示す。粗骨材の粒度は、コンクリート用砕石2005のJIS規格の範囲にほぼ入るが、最初の実験試料を15mm以下に破砕したため、高度再生処理なしの再生骨材Ⅰでも細かめであった。高度再生処理をすると、さらに細かくなった。細骨材の方は、コンクリート用砕砂のJIS規格に

比べて粗い粒子と細かい粒子が多く中間の粒径が少ないという結果であった。

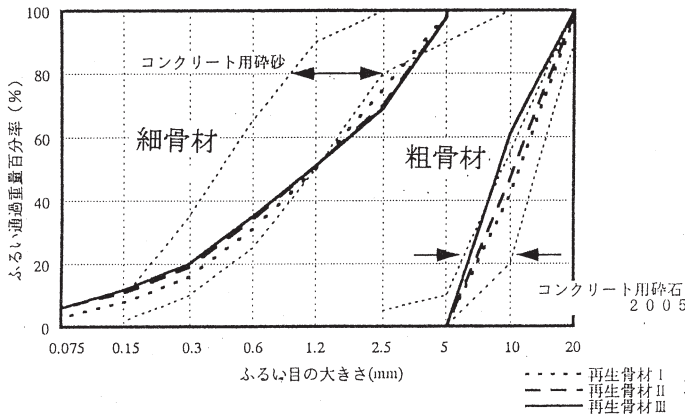


図4 各骨材の粒度の試験結果

つぎに比重と吸水率の試験結果を表3に示す。粗骨材の方は、セメント分の分離除去による高度再生処理により、JIS規格のコンクリート用砕石に匹敵する品質にまで改善できることがわかる。高度再生処理1回だけの再生骨材IIでは、比重と吸水率はまだJISの基準を満足しないが、処理2回の再生骨材IIIでは、十分に満足している。細骨材については、高度再生処理によって次第に改善されるものの、2回処理を行っても、まだ基準を満足するような品質にはなっていない。

表3 各骨材の比重と吸水率の試験結果

骨材の種類		表乾比重	絶乾比重	吸水率(%)
粗骨材	再生骨材 I	2.43	2.31	5.08
	再生骨材 II	2.51	2.43	3.26
	再生骨材 III	2.60	2.55	1.86
細骨材	再生骨材 I	2.19	1.98	10.34
	再生骨材 II	2.24	2.10	6.47
	再生骨材 III	2.31	2.20	5.16
JIS規格	コンクリート用砕石	—	2.5以上	3.0以下
	コンクリート用砕砂	—	2.5以上	3.0以下

表4に、単位容積質量と実積率の試験結果を示す。高度再生処理によって骨材粒子の角が取れて実積率が高くなると予想したが、表に示すように実積率には明らかな変化はみられなかった。前処理のコンクラッシャによる破碎ですでに、ある程度角取りが行われたためと考えられる。しかし、すべてJIS規格を十分に満足する試験結果であった。なお骨材粒子の比重が増加するため、単位容積重量は明らかな増加を示した。

表4 各骨材の単位容積質量と実積率の試験結果

骨材の種類		単位容積質量(kg/l)	実積率(%)
粗骨材	再生骨材 I	1.37	59.0
	再生骨材 II	1.48	60.3
	再生骨材 III	1.51	59.7
細骨材	再生骨材 I	1.36	67.8
	再生骨材 II	1.54	69.9
	再生骨材 III	1.60	69.9
JIS規格	コンクリート用砕石	—	55以上
	コンクリート用砕砂	—	53以上

### 3. 再生骨材を用いた転圧コンクリートの作製と曲げ強度の検討実験

#### 3.1 使用材料

転圧コンクリートの作製に使用した材料を表5に、粗骨材と細骨材の粒度を図5に示す。再生骨材は先の実験で作製したもので、粗骨材のうちの普通骨材は砕石、細骨材のうちの普通骨材は砕砂である。各骨材をふるい分けして分級した後、図5の粒度に調整して使用した。粒度調整後の各骨材の表乾比重を表5に示す。セメントには、コンクリート供試体の養生期間を短くしたいことから、早強ポルトランド

表5 転圧コンクリートの作製に使用した材料

材料名	種類	表乾比重
セメント	早強ポルトランドセメント	3.13
粗骨材	再生骨材 I	2.42
	再生骨材 II	2.53
	再生骨材 III	2.60
	普通骨材 (砕石)	2.69
細骨材	再生骨材 I	2.19
	再生骨材 II	2.23
	再生骨材 III	2.30
	普通骨材 (砕砂)	2.44
混和剤	AE減水剤 (C×0.25%)	

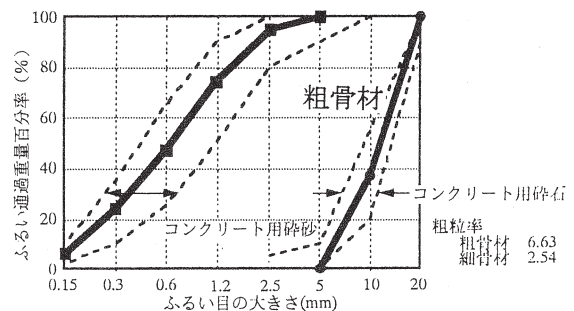


図5 転圧コンクリートに用いた骨材の粒度



セメントを用いた。また混和剤としてリグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体を主成分とするAE減水剤をセメント重量に対して0.25%添加で用いた。

### 3.2 骨材の組み合わせによる実験の種類

骨材の高度再生処理の程度および再生骨材を粗骨材のみか全骨材に用いるかの選択が転圧コンクリートの強度に及ぼす影響を検討するため、表6に示す骨材の組み合わせで転圧コンクリートを作製して曲げ強度を試験する実験を行った。

表6 転圧コンクリートの骨材の組み合わせ

実験の種類	A	B	C	D	E	F	G
粗骨材の種類	再生 I	再生 I	再生 II	再生 II	再生 III	再生 III	普通
細骨材の種類	再生 I	普通	再生 II	普通	再生 III	普通	普通

### 3.3 転圧コンクリートの配合

転圧コンクリート舗装技術指針(案)<sup>10)</sup>に従って細骨材率と単位水量を決定した後、セメント水比を3段階に変えて転圧コンクリート供試体を作製して曲げ強度試験をすることとした。

#### (1) 細骨材率の決定

単位水量を105kg/m<sup>3</sup>、単位セメント量を280kg/m<sup>3</sup>とし、細骨材率を変化させてコンクリートをミキサで練り、マーシャル突固め試験方法<sup>10)</sup>により円筒モールドに締め固めて縮固め率を測定し、最も高い縮固め率が得られる細骨材率を曲げ試験供試体作製のための細骨材率とした。縮固め率と細骨材率との関係の一例を図6に、各実験の種類すなわち骨材の組み合わせごとの細骨材率の決定値を表7に示す。

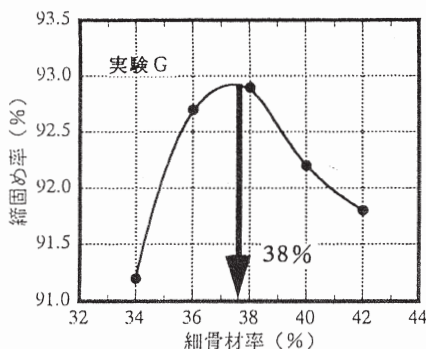


図6 縮固め率と細骨材率との関係例

表7 転圧コンクリートの細骨材率の決定値

実験の種類	A	B	C	D	E	F	G
細骨材率(%)	42	42	42	38	46	46	38

なお、ここで縮固め率とは、縮固め後の単位容積質量すなわち湿潤密度と空隙率を0%とした理論配合における単位容積質量との比を%で表した数値である。

#### (2) 単位水量の決定

単位セメント量を280kg/m<sup>3</sup>、細骨材率を表7に示した値とし、単位水量を変化させてコンクリートを練り、マーシャル突固め試験方法により締め固めて縮固め率を測定し、縮固め率が96%となる単位水量を曲げ試験供試体作製のための単位水量とした。縮固め率と単位水量との関係の一例を図7に、各実験の種類すなわち骨材の組み合わせごとの単位水量の決定値を表8に示す。

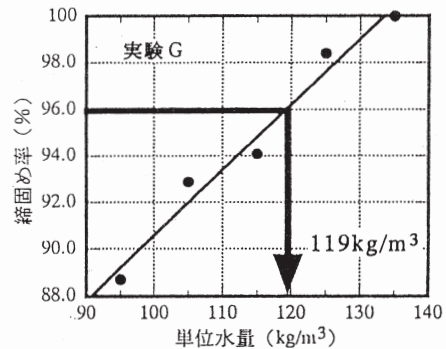


図7 縮固め率と単位水量との関係例

表8 転圧コンクリートの単位水量の決定値

実験の種類	A	B	C	D	E	F	G
単位水量(kg/m <sup>3</sup> )	121	108	121	110	136	121	119

#### (3) 単位量の決定

前記のとおり決定した細骨材率と単位水量で、セメント水比を2.50、2.75、3.00の3通りに変化させ、それぞれ表9に示す単位量で曲げ試験用供試体作製のためのコンクリートを配合した。

### 3.4 曲げ試験供試体の作製方法

表9の各配合ごとに、まず400×300×100(mm)の寸法に転圧・締め固めた後、図8に示すように、100×100×400(mm)に切断して曲げ試験用供試体とした。

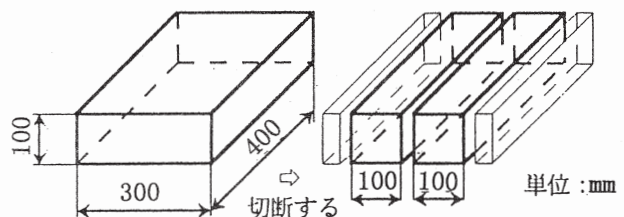


図8 曲げ試験供試体の切り出し方法

表9 各種類の転圧コンクリートの配合表

実験の種類	セメント水比 W/C	理論配合(空隙率0%)での単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水 W	セメン C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
A	2.50	121	303	720	1099	0.756
	2.75	121	333	711	1085	0.832
	3.00	121	363	702	1072	0.908
B	2.50	108	270	826	1131	0.675
	2.75	108	297	817	1119	0.743
	3.00	108	324	808	1107	0.810
C	2.50	121	303	733	1148	0.756
	2.75	121	333	724	1134	0.832
	3.00	121	363	715	1120	0.908
D	2.50	110	275	744	1259	0.688
	2.75	110	303	736	1245	0.756
	3.00	110	330	728	1231	0.825
E	2.50	136	340	800	1061	0.850
	2.75	136	374	789	1045	0.935
	3.00	136	408	777	1030	1.020
F	2.50	121	303	878	1100	0.758
	2.75	121	333	869	1084	0.832
	3.00	121	363	856	1071	0.908
G	2.50	119	298	729	1311	0.744
	2.75	119	327	720	1296	0.818
	3.00	119	357	711	1280	0.893

なお、ここでの締め固めは、写真3に示すようにローラコンパクターによった。配合設計において設定した締め固め率96%のなるように材料を計量して金属製型枠に入れ、ローラコンパクターで所定の体積になるまで転圧して締め固めた。

3.5 養生および曲げ試験の方法

締め固めた転圧コンクリート板を締め固め日の翌日に型枠から出し、乾燥しないように湿った布で覆って室内で養生した。締め固め後6日目に曲げ供試体の寸法に切断し、室内で1日間自然乾燥させた後、材令7日で曲げ試験を行った。

曲げ試験については、JIS A1106のコンクリートの曲げ試験方法に従い、スパン長30cmで3等分点載荷法により行った。

3.6 曲げ試験の結果と考察

各実験すなわち各骨材の組み合わせにおける転圧コンクリートの材令7日での曲げ強度とセメント水比との関係を図9に示す。図には、各実験の種類および配合ごとに2個ずつの試験値と各実験における曲げ強度とセメント水比の関係の直線回帰線を示している。

図に見られるように、曲げ強度の試験値はかなり

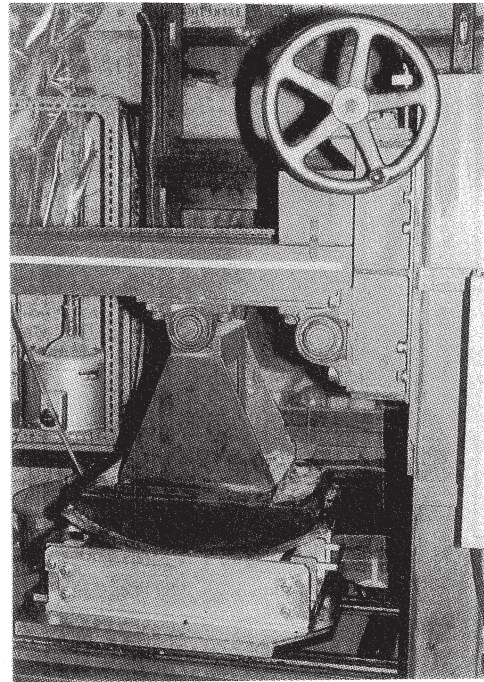


写真3 ローラコンパクターによる転圧コンクリートの締め固め

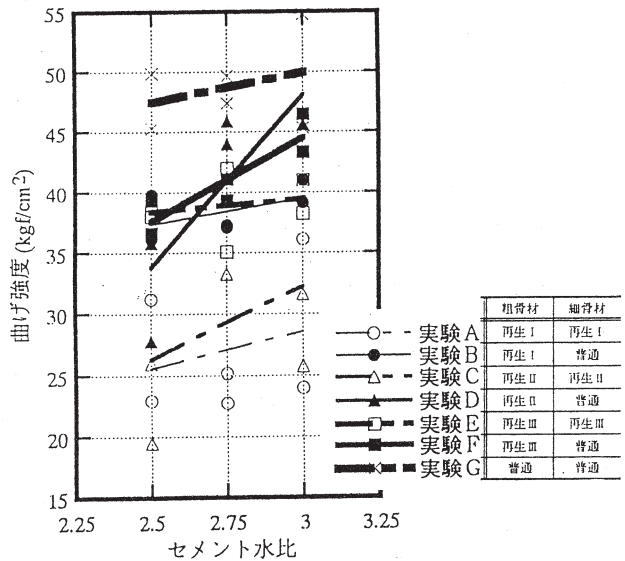


図9 骨材の組み合わせの異なる種々の転圧コンクリートの曲げ強度とセメント水比との関係

ばらついている。しかし普通コンクリートにおけると同様に、強度はセメント水比とともに増加する傾向にある。各セメント水比における曲げ強度は実験の種類すなわち骨材の組み合わせにより大きく異なった。

各セメント水比での平均曲げ強度を比較すると、粗骨材、細骨材とも普通骨材を用いた実験Gでは50



kgf/cm<sup>2</sup>程度の曲げ強度を示したが、粗骨材あるいは全骨材に再生骨材を使用した他のすべては、それより低い曲げ強度であった。特に全骨材に再生骨材ⅠあるいはⅡを使用した実験AとCでは、曲げ強度の平均値は実験Gの約60%程度の低い値であった。また試験値のばらつきも大きい。粗骨材と細骨材の全骨材に再生骨材を用いても、2回の高度再生処理をした再生骨材Ⅲ使用の実験Eでは、曲げ強度はかなり高くなり、実験Gの約80%の値を示した。

また粗骨材のみに再生骨材を使用した場合には、いずれも全骨材が普通骨材の場合（実験G）の80%程度の曲げ強度となった。特に高度再生処理を施した再生骨材ⅡあるいはⅢを用いた実験D、Fの場合、高いセメント水比では実験Gとの差が小さくなる傾向を示した。

#### 4. まとめ

破砕処理施設に運ばれてきた実際の建築物の解体で発生したコンクリート塊を用いてセメント分の除去程度の異なる再生骨材を作製し、それらを使用した舗装用転圧コンクリートの曲げ強度を比較する実験を行った。その結果を次のとおりまとめることができる。

- ①実験で用いたような装置で再生骨材粒子どうしをもみ合わせる処理を行うと、処理回数とともに骨材の比重は大きく、吸水率は低くなり、コンクリート用骨材としての品質は高くなった。
- ②用いた再生骨材試料では、2回の処理でJIS規格のコンクリート用砕石の基準を満足する品質の再生粗骨材を得ることができた。ただし同時に得られた再生細骨材の品質はJIS規格のコンクリート用砕砂の基準を満足しなかった。
- ③得られた再生粗骨材の割合は、処理を行うごとに減少し、処理前では40%であったが、2回の処理で25%になった。その分、再生細骨材の割合が増加した。
- ④処理に伴う実積率の変化は顕著ではなかった。
- ⑤再生骨材を使用した転圧コンクリートの曲げ強度は、セメント水比を大きくすれば高くなるが、その比が同じであれば、普通骨材の砕石と砕砂を使用した場合に比べて低く、60~80%であった。
- ⑥2回処理の再生骨材を使用の場合、または粗骨材のみを使用の場合の曲げ強度は、すべてに普通骨材を使用の場合の80%程度であった。1回処理までの再生細骨材を使用すると60%程度に低下した。

すなわち高度再生処理を行い、セメント水比をある程度大きくして、再生骨材を使用すれば、普通骨材の場合と大差ない曲げ強度の転圧コンクリートを

作ることができ、最初に示した図1のような使い方であれば適用可能と予想されるが、さらに検討を続けたい。

#### 参考文献

- 1) 建設省建設経済局建設業課・事業調整官室監修、建設副産物リサイクル広報推進会議編集：建設リサイクル推進懇談会提言—建設リサイクル推進の在り方について—、先端建設技術センター（1996）
- 2) 建設省建設経済局建設業課・事業調整官室監修、先端建設技術センター編集：建設副産物適正処理推進要綱の解説、大成出版社（1993）
- 3) 二宮敏明・本多淳裕・山田優・福永勲：道路工事における掘削残土のリサイクルに関する研究、建設用原材料、Vol. 1, No. 1, pp. 48-55（1991）
- 4) 河野広隆：コンクリート解体材のリサイクル、エコマテリアルシリーズ 土木・建築材料のリサイクル、化学工業日報社、pp. 73-94（1996）
- 5) 山田優・川本裕章・長谷川俊和・本多淳裕：コンクリートがらからの骨材回収に関する研究、建設用原材料、Vol. 3, No. 1, pp. 16-20（1993）
- 6) 畑実：コンクリート廃材からの骨材の回収方法、建設用原材料、Vol. 1, No. 1, pp. 36-41（1991）
- 7) 細川吉晴・門脇秀幸・岡秀幸：廃棄コンクリート再生骨材の二次製品への有効利用、建設用原材料、Vol. 3, No. 1, pp. 9-15（1993）
- 8) 山田優：コンクリート・リサイクルについて—その技術の現状と課題—、骨材資源、No. 113, pp. 1-8（1997）
- 9) 吉兼亨・鯉江利夫・松下正美：コンクリート副産物の破砕材を用いた転圧コンクリート、建設用原材料、Vol. 3, No. 2, pp. 21-26（1993）
- 10) 日本道路協会：転圧コンクリート舗装技術指針（案）（1990）

（1997年5月29日受付 6月19日受理）